

УДК 539.3

СИММЕТРИЧНЫЙ УДАР КРУГОВОЙ ТРЕХСЛОЙНОЙ ПЛАСТИНЫ О ВОДУ

А.М. Крупенин, М.И. Мартыросов

Аннотация

Статья посвящена численному изучению поведения трехслойной симметричной по толщине круговой пластины со сплошным изотропным заполнителем при вертикальном ударном взаимодействии с идеальной сжимаемой жидкостью (водой). Скорость начального взаимодействия считается малой по сравнению со скоростью звука в жидкости. Изучается начальный этап взаимодействия, когда гидродинамические силы и давления достигают максимальных значений. Проводится параметрический анализ относительно скорости взаимодействия. Учитывается влияние на динамику пластины гравитационных сил. Задача решается в связанной осесимметричной постановке.

Ключевые слова: удар, трехслойная пластина, взаимодействие с жидкостью, численное моделирование

1. Введение

Рассматривается начальный этап ударного взаимодействия симметричной по толщине трехслойной круговой пластины со сплошным изотропным заполнителем при вертикальном ударе о воду.

В статье приводится консервативное решение (без учета воздушной прослойки между пластиной и жидкостью) задачи ударного взаимодействия трехслойной пластины (которая может служить модельным представлением днища, взаимодействующих с водой аппаратов) с жидкостью в связанной постановке. На основе его показаны некоторые закономерности и особенности изменения динамических характеристик пластины, которые необходимо учитывать при проектировании подобных конструкций.

Применительно к рассматриваемому вопросу можно привести следующие, полученные ранее, результаты. В работе [1] М. В. Келдыш исследовал задачу об ударе жесткой пластины шириной $2a$ о несжимаемую жидкость конечной глубины h . Им было показано, что при $h > 5a$ влияние дна уже незначительно.

Численное моделирование рассматриваемой задачи проводилось методом конечных элементов в программном продукте ANSYS AUTODYN, результаты обрабатывались в пакете Mathcad 14.

2. Постановка задачи

Трехслойная симметричная по толщине круговая пластина диаметром $2a$ падает вертикально на идеальную сжимаемую жидкость. Толщина несущих слоев: h_1 и h_2 , толщина слоя заполнителя: h_3 . Пластина свободно падает на жидкость (граничные условия по краям свободные). Моделированный объем жидкости составляет $7a$ в глубину и $4a$ в ширину. Задача решается в осесимметричной постановке относительно оси симметрии пластины. Расчет проводился при $2a = 200$ см,

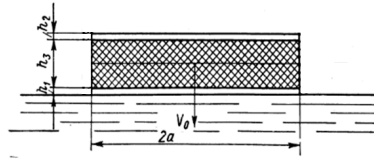


Рис. 1. Модель трехслойной симметричной по толщине пластины в начальный момент взаимодействия с жидкостью

$h_1 = h_2 = 6$ см, $h_3 = 10$ см. Диапазон начальных скоростей: 5, 10, 15 м/с. Модель пластины представлена на рисунке 1.

Пластина моделируется элементами Лагранжа. Несущие слои моделируются тремя элементами по толщине, заполнитель пятью. Между слоями задано условие совместности перемещений (сшитая сетка). Количество элементов моделирующих пластину 550. Бассейн моделируется элементами Эйлера. Количество элементов Эйлера 160000.

В общем случае материал имеет сложный отклик на динамическую нагрузку. В ANSYS AUTODYN модель материала разбивается на три части: уравнение состояния, которое выражает изменение объема и описывается шаровым тензором, модель прочности, которая выражает изменение формы и описывается девиатором, и модель разрушения.

Модель материала:

$$\sigma_i = -p + s_i.$$

где p – гидростатическое давление, σ – тензор напряжений, s_i – девиатор тензора напряжений.

$$p = \frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)$$

В качестве уравнение состояния в работе принято соотношение:

$$p = K\mu.$$

где p – гидростатическое давление, K – мгновенный модуль объемной деформации, μ – сжатие.

$$\mu = \frac{\rho}{\rho_0} - 1.$$

ρ – плотность материала, ρ_0 – начальная плотность.

В качестве модели прочности принято соотношение:

$$ds_i = 2G(d\varepsilon_i - \frac{dV}{3V}).$$

где G – модуль сдвига, V – объем, ε – тензор деформаций.

Модель разрушения не задается.

Вместе они являются эквивалентом закона Гука. Для несущих слоев использован материал Д16Т, а для заполнителя фторопласт-4. Характеристики материалов, приведенные в таблице 1, взяты из [2].

Для моделирования воды использовалась стандартная модель заложенная в ANSYS AUTODYN. Верификация метода проведена в работе [3].

Таблица 1. Характеристики материалов

Характеристика	Д16Т	Фторопласт-4
K , МПа	92140	4700
G , МПа	30750	90
ρ , кг/м ³	2700	2150

3. Результаты

В работе рассмотрено влияние начальной скорости погружения и гравитационных сил на динамические характеристики погружающегося в жидкость тела. Решение получено для вертикального удара о жидкость круговой симметричной по толщине пластины со сплошным изотропным наполнителем в осесимметричной связанной постановке.

На рассмотренном участке скоростей начального взаимодействия зависимости перемещений, скоростей, ускорений и напряжений от начальной скорости линейны. На рисунке 2 представлены графики максимальных напряжений по Мизесу (в МПа) в зависимости от скорости соударения (в м/с). Сплошной чертой показаны напряжения в первом несущем слое, точками – напряжения во втором несущем слое.

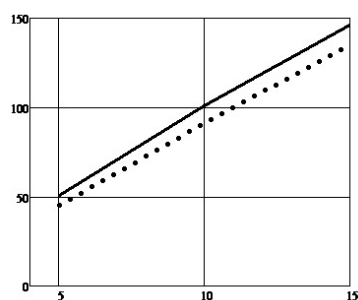


Рис. 2. Максимальные напряжения в зависимости от скорости соударения

Максимальные напряжения возникают на внешней стороне первого несущего слоя в центре пластины. Напряжения в наполнителе на порядок меньше напряжений в несущих слоях, что позволяет применять для него более легкие и менее прочные материалы. Максимальные напряжения во втором несущем слое приблизительно на 10 процентов меньше максимальных напряжений в первом, что не позволяет внести в конструкцию асимметрию по толщине.

В заключении следует отметить, что приведенный расчет выступает в качестве консервативной оценки. Учет воздушной прослойки между падающей пластиной и свободной поверхностью жидкости и второй вязкости жидкости сделает переход воздух-жидкость более плавным, что, как следствие, приведет к снижению максимальных напряжений и ускорений, а также перераспределению динамических характеристик по времени и координате.

Summary

A.M. Krupenin, M.I. Martirosov. The symmetric impact of the round tree-layer plat with water.

The article is devoted to numerical research of the behavior of a tree-layer symmetric round plat with continuum isotropic filler with vertical impact interaction with an ideal compressible liquid (water). The initial rate of interaction is small compared with the speed of sound in the liquid. Studied the initial stage of the interaction, when the hydrodynamic forces and pressure reach maximum values. Performed parametric analysis relative to the speed of interaction. Take into account the impact on the dynamics of plate gravitational forces. The problem is solved in a coherent axisymmetric setting.

Key words: impact, tree-layer plat, interaction with liquid, numerical simulation

Литература

1. *Келдыш М. В.* Удар пластины о воду, имеющую конечную глубину // Труды ЦАГИ, 1935. Вып. 152. С. 13-20.
2. *Горшков А. Г., Старовойтов Э. И., Яровая А. В.* Механика слоистых вязкоупруго-пластических элементов конструкций. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. 576 с
3. *Крупенин А. М., Мартиросов М. И.* Верификация численной модели взаимодействия прямоугольной пластины с поверхностью воды // Электронный журнал «Труды МАИ», 2014, Вып. 75. С. 1-21.

Сведения о каждом из авторов статьи

Крупенин Александр Михайлович – аспирант, Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

Мартиросов Михаил Иванович – кандидат технических наук, доцент, Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

E-mail: *martirosova@ultranet.ru*